

VERIFICA AUTOMATICA DI RIPRESE AEREE DIGITALI

Andrea MAFFEIS (*), Livio PINTO (*)

(*) DIAR- Politecnico di Milano, P.zza L.da Vinci, 32 – 20133 Milano, tel. 0223996543,
e-mail: [andrea.maffeis;livio.pinto]@polimi.it

Riassunto

Nelle moderne riprese aeree con sensori digitali è necessario verificare al più presto, dopo la missione di volo, la rispondenza del progetto alla ripresa effettuata, sia da parte dei tecnici per poter validare il volo, sia da parte dei collaudatori per acconsentire il passaggio alle successive fasi del processo fotogrammetrico. In quest'ottica gli autori hanno realizzato un software, scritto in linguaggio C++, in grado di compiere gli usuali controlli sulle riprese fotogrammetriche (controllo dei ricoprimenti, della scala minima e massima, degli angoli di assetto e della deriva dei fotogrammi) in modo del tutto automatico mediante la proiezione su un DTM di ogni singolo fotogramma orientato. Il programma segnala le zone del DTM non ricoperte nonché tutti i parametri i cui valori risultano esterni agli intervalli preimpostati. Vengono prodotti output di tipo sia numerico che grafico, in formato DXF 3D e in formato GML per un'importazione diretta in ambiente GIS, per una immediata visualizzazione sul DTM. Si riporta un esempio di applicazione del software su un blocco di circa 600 fotogrammi ripresi su una zona montuosa della Regione Calabria.

Abstract

Verifying the correspondence between the planned flight lines and the actual ones just after the mission is critical to speed up internal quality control as well as the external ones performed by the customer. Modern aerial digital cameras with on board GPS and IMU recording position and attitude at exposure time allow for accurate and fast check of the flight parameters. In this contest the authors have implemented a C++ software that operates the standard photogrammetrics checks (overlap, minimum and maximum image scale and attitude angles) in automatic way by the projection of every single oriented photogram over a Digital Terrain Model. The software highlights gaps in the ground coverage and those parameters that do not comply with the specification. Besides a text report, graphical files (DXF 3D or GML) that can be directly overlap over the DTM are output. An application case study about over 600 images of the mountain area of Calabria will is presented.

Introduzione

La verifica della ripresa aerea fotogrammetrica è operazione che, secondo l'orografia del terreno e della scala della carta, può essere semplice oppure complessa, ma in ogni caso dispendiosa in termini di tempo, specialmente nel bilancio di tempi spesso ridotti. La disponibilità su tutto il territorio nazionale di modelli digitali del terreno (con risoluzione e accuratezza sufficienti allo scopo) e la possibilità di conoscere con precisione adeguata l'assetto e la posizione della camera agli istanti di presa, consentono di affrontare il problema in una concreta prospettiva operativa. Il problema, già affrontato negli scorsi anni (Barilli et alii, 1998), è stato ripreso dagli autori attualizzandolo sia per quanto concerne l'utilizzo dei moderni sensori digitali sia per facilitare l'output dei risultati in ambiente GIS.

Le camere aerofotogrammetriche di tipo digitale sono infatti sempre più impiegate per effettuare voli fotogrammetrici finalizzati alla realizzazione di cartografia e Database topografici. Le

dimensioni di ogni singolo frame, costante e di grande formato per le fotocamere analogiche, varia invece per le camere digitali in funzione del costruttore: si passa da formati di piccole dimensioni (DIMAC, Ultracam Vexel, ecc.) a formati di medie dimensioni (ADS40 Leica, DCM Intergraph). Le dimensioni del sensore, spesso nemmeno di formato quadrato, comportano l'acquisizione di un gran numero di strisciate lungo le quali viene ripreso un elevato numero di immagini per ogni missione di volo. Molto spesso delle immagini è noto, in quanto acquisito con sistemi IMU/GPS durante la ripresa, l'orientamento esterno, rendendole, in pratica, direttamente un prodotto utilizzabile per la restituzione. Infine, il prodotto digitale mal si presta ad una analisi comparativa dei ricoprimenti, in quanto le singole immagini vengono visualizzate a video ma raramente stampate su un supporto cartaceo.

In quest'ottica risulta di grande utilità un prodotto software in grado di realizzare gli usuali controlli svolti a valle della ripresa per la validazione del volo e il passaggio alle successive fasi del processo fotogrammetrico.

Un programma che controlli i risultati della ripresa è uno strumento operativamente valido, che consente un'effettiva velocizzazione della sua verifica e che, nella maggior parte dei casi, è in grado di portare a termine autonomamente il lavoro.

Principi del metodo

Il programma Verifica si basa essenzialmente sulle equazioni di collinearità, nelle quali si considerano noti i parametri di assetto, le coordinate del centro di presa e le coordinate immagine. Proiettando sul DTM una serie di punti allineati lungo il bordo delle immagini si individua la zona del terreno visibile in ogni *frame* e si controlla la rispondenza dei parametri geometrici al capitolato. La proiezione sul DTM di ciascun punto immagine avviene per iterazioni successive andando a determinare le coordinate X e Y a partire da una Z approssimata, pari ad esempio alla quota media del terreno nella zona di interesse. Alla seconda iterazione si assume come quota nota quella del DTM corrispondente alle coordinate X, Y trovate al passo precedente. Il processo iterativo termina, generalmente abbastanza rapidamente, quando la quota del DTM differisce da quella individuata al passo precedente di una quantità inferiore ad un valore prefissato.

Le funzionalità del software

Il programma Verifica può essere utilizzato a valle di una ripresa aereofotogrammetrica per eseguire una serie di controlli di qualità e per accertarsi del rispetto delle prescrizioni solitamente contenute nei capitolati.

I dati di ingresso necessari per un corretto funzionamento del programma sono:

- un file in formato testo contenente il DTM dell'intera area delle riprese;
- un file contenente le informazioni relative all'orientamento esterno di ogni fotogramma, ovvero un identificatore univoco, le coordinate dei centri di presa (esprese in coordinate cartesiane, dove la quota deve necessariamente essere dello stesso tipo inserita nel DTM), gli angoli d'assetto (espressi in radianti o gradi centesimali);
- un file contenente una serie di parametri di carattere generale (dimensioni dell'immagine, del lato del pixel, limiti di ricoprimento imposti nel capitolato, numero di fotogrammi e di strisciate, etc.).

Le principali funzionalità del programma sono:

- Proiezione e disegno dei fotogrammi sul terreno

Questa funzione rappresenta la prima e la più semplice operazione che si può eseguire con il programma. Permette di ottenere un file grafico (dxf 3D) rappresentante la proiezione sul terreno, o meglio sul DTM, del contorno dei *frame*. Ad ogni fotogramma è associato un identificatore univoco. È possibile impostare, a seconda dei casi in esame, il numero di punti che compongono i vertici del perimetro del *frame*: in tal modo per una ripresa aerea in zone montane con forte pendenza del terreno, al fine di avere una fedele ricostruzione della copertura, si potrà scegliere di proiettare sul terreno un alto numero di punti del contorno dell'immagine. Viceversa per riprese aeree in zone sostanzialmente pianeggianti si può arrivare al caso limite di proiettare solamente i

vertici angolari senza avere sostanziali perdite in termini di qualità. Di fatto in fase di input si deve fornire il valore, espresso in numero di *pixel*, del passo di campionamento lungo il bordo esterno del *frame* (si possono specificare valori diversi per i due lati dell'immagine).

In aggiunta il programma fornisce in output un *report* riguardante le informazioni di carattere generale del blocco e, per ogni fotogramma, le informazioni circa la scala (minima, massima, media), l'abbracciamento medio al suolo, la matrice di rotazione, le coordinate immagine dei vertici campionati e le rispettive coordinate a terra.

- Controllo del ricoprimento longitudinale fra fotogrammi contigui della stessa strisciata

Attraverso questa funzione è possibile operare uno dei controlli basilari, che permette di garantire la formazione dei modelli da utilizzare per la successiva restituzione fotogrammetrica, tramite la verifica del ricoprimento longitudinale tra fotogrammi contigui lungo la medesima strisciata. Presi due fotogrammi ed i loro lati contigui (anteriore o posteriore a seconda della posizione del fotogramma), la verifica si basa essenzialmente sul calcolo della proiezione delle coordinate terreno sulla retta che rappresenta l'asse medio di volo. La minima differenza tra questi valori rappresenta il ricoprimento longitudinale preso nelle condizioni più sfavorevoli (figura 1). Una volta stabilito, così come riportato nel capitolato di riferimento, il parametro di minimo ricoprimento (generalmente non inferiore al 60%) il programma produce un *report* in cui per ogni fotogramma si forniscono le informazioni di ricoprimento longitudinale con il fotogramma successivo. In particolare viene evidenziato, oltre alla scala ed all'angolo di sbandamento medi, il valore di ricoprimento longitudinale (in metri ed in percentuale) e se tale valore rispetta i limiti forniti in input. I valori contenuti nel *report* sono sinteticamente ripresi anche in un file di tipo tabellare, per cui le informazioni di un singolo fotogramma si trovano nello stesso record. Tale approccio favorisce eventuali analisi di tipo statistico.

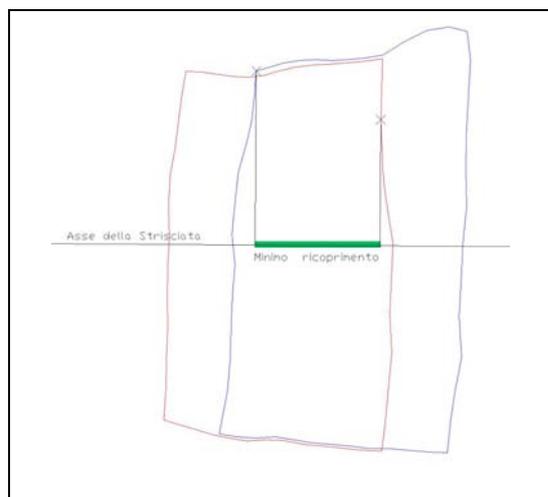


Figura 1 – Calcolo del ricoprimento longitudinale

- Controllo del ricoprimento trasversale fra fotogrammi contigui della stessa strisciata

Questa funzionalità permette di verificare che non ci sia un eccessivo scostamento dall'asse della strisciata tra un fotogramma ed il successivo. Similmente a quanto avviene nella verifica del ricoprimento longitudinale si vanno a proiettare su una retta di riferimento i vertici dei lati adiacenti di due fotogrammi consecutivi per poi confrontarli. Il risultato del ricoprimento trasversale lungo la stessa strisciata è memorizzato nello stesso *report* del ricoprimento longitudinale (sia nel formato testuale che tabellare). Anche in questo caso viene riportato il valore, in metri ed in percentuale, e l'eventuale mancanza di rispetto dei vincoli imposti.

- Controllo del ricoprimento trasversale fra strisciate adiacenti

Grazie a questa funzionalità è possibile verificare il rispetto del ricoprimento trasversale tra strisciate adiacenti (solitamente richiesto maggiore del 10%). Date due strisciate adiacenti, la procedura prende in considerazione tutti i vertici dei lati contermini (in un caso inferiore e nell'altro superiore). Per ogni punto viene calcolato lo scostamento, lungo la direzione ortogonale all'asse di volo, dai punti appartenenti alla strisciata adiacente e compresi in un prefissato intorno: tra tutte le distanze si evidenziano quelle minime. Ovviamente, dato che l'interesse è quello di verificare la possibilità di stereorestituzione a partire dai modelli, solamente i punti visibili in almeno due fotogrammi della stessa strisciata vengono utilizzati ai fini del calcolo (non si analizzano i punti sulle code delle strisciate). Da sottolineare il fatto che è possibile impostare la verifica su spezzoni di strisciate individuate in un determinato range di quote. Tale possibilità è particolarmente

significativa per le riprese aeree eseguite in zone montuose, dove spesso l'area da rilevare è ricoperta da voli sovrapposti ma ripresi a quote differenti. Anche per questo controllo l'output è rappresentato da un *report* in formato testo, organizzato in modo tabellare, che indica, per ogni coppia di strisciate, il valore in metri ed in percentuale, del minor ricoprimento trasversale, i punti dove esso si verifica, la scala e l'abbracciamento al suolo dei fotogrammi interessati.

- Verifica delle variazioni degli elementi di orientamento angolare fra fotogrammi contigui

Ulteriore controllo, solitamente previsto dai capitolati, è la verifica che le differenze tra gli angoli di assetto (ϕ, λ, κ) di immagini successive siano inferiori a prefissati valori di tolleranza. Il programma, a partire dagli angoli di assetto di ogni ripresa (valore di input associato alle rispettive coordinate dei centri di presa), ricava facilmente i valori dello scostamento tra una immagine e la successiva. Le informazioni prodotte sono memorizzate, oltre che nel consueto *report* testuale, anche nella medesima tabella utilizzata per la verifica del controllo longitudinale.

- Calcolo dello scostamento del punto principale dall'asse della strisciata

Il programma consente anche la stima dei parametri dell'equazione dell'asse medio della strisciata. Da questo calcola lo scostamento nel piano XY che sussiste tra il punto principale e l'asse della strisciata. Solitamente tale valore deve essere inferiore ad una prefissata tolleranza. L'output anche in questo caso è rappresentato da un *report* testuale con i parametri delle equazioni degli assi, i valori (in metri ed in percentuale) dello scostamento e l'eventuale presenza di valori fuori limite.

- Verifiche di visibilità dei punti a terra

Questa funzione permette di stabilire in quanti fotogrammi e in quali strisciate si vede un prefissato punto a terra. Fornendo le coordinate X, Y, Z di un punto, o di una serie di punti, il programma genera automaticamente un *report* in cui vengono indicati i fotogrammi in cui tale punto (o punti) è visibile.

L'integrazione del programma in ambiente GIS

Come si è visto nel paragrafo precedente, gli output prodotti dal programma Verifica sono essenzialmente:

- file grafici (DXF 3D) rappresentanti la reale copertura delle immagini al suolo;
- *report* testuali (o in forma di tabella) contenenti i risultati delle verifiche eseguite.

Tali prodotti consentono, per blocchi di piccole dimensioni, una rapida visualizzazione della copertura dei fotogrammi a terra e a margine una relativamente semplice lettura dei risultati frutto del controllo.

Nel caso però di analisi di una ripresa aerea di non esigue dimensioni, ad esempio caratterizzata da diverse centinaia di immagini (per le ridotte dimensioni del *frame* o per le notevoli sovrapposizioni), la lettura dei risultati può risultare problematica.

Da qui è nata l'idea di associare informazioni grafiche e alfanumeriche per visualizzarle congiuntamente all'interno di una piattaforma GIS. Così facendo non solo è possibile sfruttare tutte le potenzialità di questi sistemi (ad esempio, banalmente, la sovrapposizione grafica con il DTM), ma è anche possibile conoscere tutte le informazioni relative ai controlli contestualmente al disegno grafico. Ad esempio è immediato individuare e localizzare gli eventuali fotogrammi problematici ed è sicuramente più immediato capirne la causa.

La soluzione prevede la costruzione da parte del programma di tre file GML contenenti differenti tipologie di informazioni:

1. File GML con geometria poligonale 3D contenente le informazioni di carattere generale relative ai singoli fotogrammi: scala minima, scala media, scala massima, abbracciamento al suolo dei singoli lati.
2. File GML con geometria poligonale 3D contenente le informazioni frutto del confronto tra fotogrammi adiacenti: ricoprimento longitudinale, ricoprimento trasversale e variazione degli elementi di orientamento angolare.
3. File GML con geometria lineare 3D contenente l'individuazione, per ogni coppia di strisciate adiacenti, del vettore rappresentante il minimo ricoprimento trasversale.

Un caso reale: il collaudo della Cartografia Numerica a scala 1:5000 della Regione Calabria

La Regione Calabria ha pianificato la realizzazione della Carta Tecnica Numerica suddividendo il territorio in 9 lotti. Unitamente alla produzione della classica CTRN 5K, la regione ha richiesto nei suoi bandi la realizzazione di un database topografico. Dei 9 lotti previsti, 6 sono in fase avanzata di realizzazione, mentre i restanti 3, assegnati in un unico appalto, sono attualmente in corso di esecuzione: il collaudo è stato affidato al Centro per lo Sviluppo del Polo di Cremona del Politecnico di Milano ed è curato dagli autori del presente lavoro.

La ditta aggiudicataria ha utilizzato per le riprese la camera aerea digitale DMC Z/I Imaging consegnando un piano di volo che prevede il rilievo di oltre 6000 fotogrammi. Sono previste tre differenti quote di volo per rilevare rispettivamente le aree a quota inferiore ai 600 m slm, quelle comprese tra 600 m slm e 1400 m slm e quelle a quota superiore. La camera in questione è

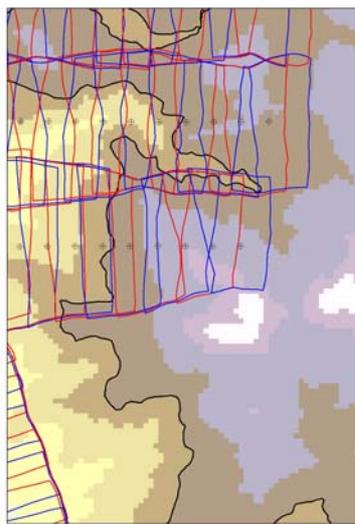


Figura 3 (a e b) – Centri di presa sul blocco test (a); dettaglio delle proiezioni delle immagini sul DTM (b)

caratterizzata da una dimensione del *frame* pari a 13824 x 7680 *pixel* (con formato dell'immagine pari a circa 16.6 x 9.2 cm²).

Le riprese sono iniziate nell'autunno 2006 per concludersi nell'estate 2007. Entro la fine del mese di settembre 2007 la fase di riprese aeree verrà sottoposta a collaudo.

Un significativo test del programma e delle procedure di collaudo è stato svolto su un primo blocco di oltre 600 fotogrammi ripresi nell'autunno del 2006 alla quota di volo più bassa. Nel seguito vengono presentati i risultati del collaudo su questo blocco test.

A partire dai valori degli orientamenti esterni delle immagini è stato

possibile ottenerne il grafico (in formato DXF 3D e GML) della reale copertura al suolo (Figura 3 a e b). Nel calcolo è stato utilizzato un DTM con cella di dimensioni di 100 m di lato. La corrispondenza tra contorno delle immagini e poligoni generati dal *software* è stata positivamente verificata su cartografia a scala 1:25000. Sono stati quindi svolti i controlli riguardanti il

ricoprimento longitudinale e trasversale tra fotogrammi adiacenti, che da capitolato dovevano essere rispettivamente maggiori del 55% e del 90% dell'abbracciamento. Nella figura 4 (a) e (b) sono evidenziati i fotogrammi che non hanno rispettato i limiti imposti (in buona parte incidenti su aree a quota superiore ai 600 m slm).

Per quanto riguarda gli elementi di orientamento angolare il capitolato prevede che i valori assoluti e le variazioni tra gli elementi di un fotogramma ed il successivo siano contenuti entro i 5^g. I controlli eseguiti hanno permesso di verificare il rispetto di questa prescrizione sulla totalità dei fotogrammi presi in esame.

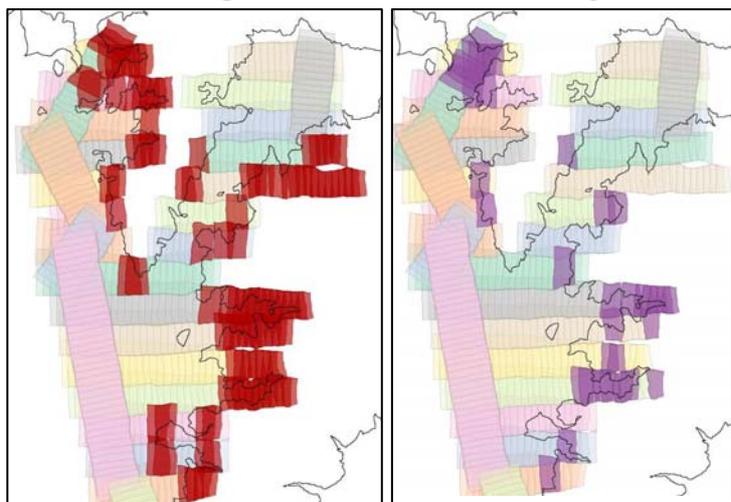


Figura 4 (a e b) – Coppie di fotogrammi che non rispettano il ricoprimento longitudinale (a) trasversale lungo la strisciata (b)

L'ultimo controllo verifica il ricoprimento trasversale tra strisciate adiacenti. Per maggiore brevità si riporta un esempio relativo ad un limitato sottoinsieme di immagini relative alle prime 7 strisciate nella zona Nord-Ovest dell'area test (strisciate pari dalla 54 alla 66, tabella 5 e figura 6).

<i>Strisciata 1</i>	<i>Strisciata 2</i>	<i>Abb.to al suolo (m)</i>	<i>Ricoprimento Trasversale Minimo</i>	
			<i>(m)</i>	<i>(%)</i>
54	56	3283,96	393,5	11,98
56	58	2912,56	356,83	12,25
58	60	2848,21	351,44	12,34
60	62	2944,86	344,18	11,69
62	64	2819,29	304,81	10,81
64	66	3114,78	209,34	6,72

Tabella 5 – Report riguardante il controllo del ricoprimento trasversale tra strisciate adiacenti

Analizzando i valori numerici riportati in tabella 6, è immediato riconoscere che il ricoprimento minimo delle strisciate 64-66 è inferiore al 10% previsto da capitolato. Graficamente viene evidenziato un segmento in corrispondenza del minimo ricoprimento tra coppie di strisciate (figura 6). Da notare che la gran parte dei punti a minimo ricoprimento si trova a ridosso della curva di livello 600 m.

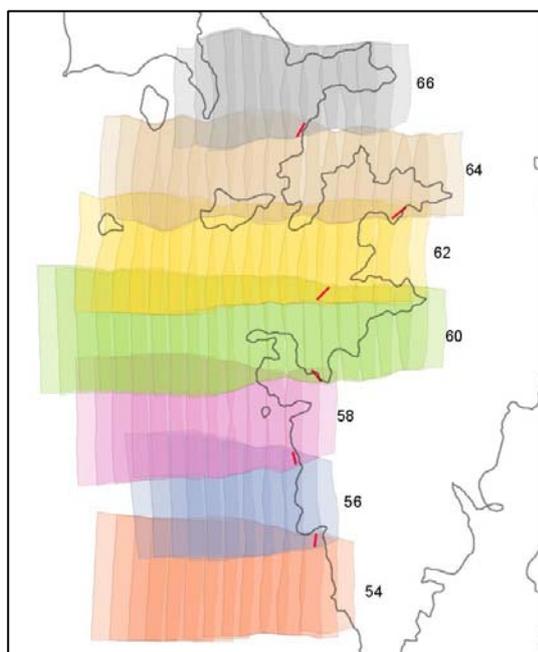


Figura 6 – Strisciate della zona N-W del blocco con evidenziati i segmenti del minimo ricoprimento trasversale.

Conclusioni

Il programma messo a punto è un valido ausilio sia per operatori fotogrammetrici sia per i collaudatori. Con esso è finalmente possibile realizzare i controlli sulla totalità delle immagini senza dover ricorrere al controllo a campione. Particolare vantaggio se ne ha quando si utilizzano camere digitali di piccolo formato dotate di strumentazione IMU/GPS in grado di fornire direttamente l'orientamento esterno durante la ripresa. L'integrazione in ambiente GIS facilita la rappresentazione dei risultati (zone di territorio con problematiche di ripresa quantificandone lo scostamento dai valori imposti dal Capitolato) permettendo nel contempo l'analisi critica degli stessi. Gli autori si ripromettono di estendere le prove per verificare l'incidenza del valore del lato del DTM sui risultati.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano i tecnici del Centro Cartografico della Regione Calabria, dott. Tonino Caracciolo e dott. Vincenzo Marra, per aver messo a disposizione le immagini del test.

Bibliografia

Barilli M., Forlani G., Pinto L., (1998), "Progettazione e verifica automatica di voli fotogrammetrici", Bollettino della SIFET, n° 1, pp. 81-95.
 Open Geospatial Consortium. (2006), Geography Markup Language (GML) simple features profile. In www.opengeospatial.org
 Regione Calabria (2003), "Capitolato speciale di appalto - Database topografico e carta fotogrammetrica numerica alla scala 1:5.000 – Prescrizione tecniche integrate". www.regione.calabria.it.